

[PE12]

ORIGEN Y EVOLUCIÓN MAGMÁTICA EN LA SIERRA SANTA CATARINA Y EL CAMPO MILPA ALTA, CINTURÓN VOLCÁNICO MEXICANO CENTRAL

Darío Torres-Sánchez¹, Surendra P. Verma², Fernando Velasco-Tapia³, K.S.V. Subramanyam⁴,
Chakravadhanula Manikyamba⁴ y Pedro Rodríguez-Saavedra³

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra - Posgrado, Ex – Hacienda de Guadalupe,
Carretera Linares-Cerro Prieto km. 8, Linares, N.L. 67700

E-mail: dario.torressn@uanl.edu.mx

² Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Temixco, Mor. 62580.

³ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Linares, N.L. 67700

⁴ Geochemistry Division, CSIR-National Geophysical Research Institute, Uppal Road, Hyderabad-500007, India

INTRODUCCIÓN

El Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) es una de las provincias geológicas principales en el país, la cual se conforma de diversas estructuras del Mioceno al Reciente que se distribuyen en un área de 1000 km de longitud y con 50-300 km de ancho. El CVM se compone de ~8000 estructuras volcánicas, que incluyen estratovolcanes, campos de conos monogenéticos, domos y calderas.

De acuerdo a la Tectónica de Placas, su origen inicialmente se relacionó a la subducción de las placas de Cocos y Rivera bajo la de Norteamérica (e.g., Ferrari *et al.*, 2012). Sin embargo, diversas características geológicas, geofísicas y geoquímicas complican este modelo simple y han motivado un debate en relación a la génesis de los magmas. Esta problemática incluye: (a) los volcanes se encuentran orientados con un ángulo de 15-20° con respecto a la Trinchería Mesoamericana, (b) la falta de una zona Wadati-Benioff bien definida, y (c) la coexistencia en tiempo y espacio de magmas alcalinos y calco-alcalinos a lo largo de la provincia. Como consecuencia, se han propuesto hipótesis alternativas o complementarias, incluyendo modelos que involucran una pluma de manto (e.g., Márquez *et al.*, 1999) o una condición extensional (e.g., Verma, 2002). Adicionalmente, algunos autores han demostrado el papel relevante de la corteza continental en la generación de rocas félsicas por la fusión parcial, procesos de asimilación-cristalización fraccionada y/o mezcla de magmas (e.g., Velasco-Tapia *et al.*, 2013).

Por otro lado, la parte central del CVM (Figura 1) ha sido un área de importancia significativa para estudiar el origen y la evolución del vulcanismo mexicano, ya que incluye: (a) estrato-volcanes andesíticos-dacíticos (Nevado de Toluca, < 2.6 Ma; Iztaccíhuatl, < 2.0 Ma; Popocatepetl, < 0.73 Ma; and Tlaloc-Telapón, ~31 ka), (b) una sierra volcánica del Plioceno-Pleistoceno con orientación NNW-SSE (Sierra de las Cruces, 3.5 – 0.5 Ma), constituida por flujos de lava porfírica de composición dacítica y (c) un campo volcánico cuaternario de orientación E-W (Sierra de Chichinautzin, Sch, <40 ka) que incluye conos monogenéticos, volcanes escudo y domos. Sin embargo, existen varias localidades en esta región para los que la información petrográfica, química e isotópica es limitada o inexistente. Este es el caso de la denominada Sierra de Santa Catarina (SSC; Figura 2), un alineamiento E-NE de conos volcánicos del Cuaternario y sus flujos de lava asociados, localizada al SE de la cuenca de México (Lugo-Hubp *et al.*, 1994). Por otra parte, hacia el sur, entre la SSC y la Sch, ocurren un gran número de afloramientos volcánicos (flujos de <7.5 m de longitud y ~1-2 m de espesor), los cuales se han designado en este trabajo como Campo Milpa Alta (CMA; Figura 2).

OBJETIVO

A fin de contribuir a una mayor comprensión sobre el vulcanismo en la parte central del CVM, se ha iniciado el desarrollo de una investigación, cuyo objetivo general es el proponer un modelo de origen y evolución magmática para la SSC y el CMA, así como establecer su relación con el vulcanismo de zonas colindantes. De forma

particular, en este trabajo, se reporta un análisis preliminar para la SSC y el CMA, basado en información generada y en reportes previos de Wallace y Carmichael (1999), Velasco-Tapia y Verma (2013), Arce *et al.* (2015) y Guilbaud *et al.* (2015).

GEOLOGÍA

La SSC está constituida por una serie de conos que se alinean a través de ~10 km en dirección E-W (Yuhualixqui, Xaltepec, Tetecon, Mazatepec, Tecuatzi, Santa Catarina o Guadalupe, La Caldera; Lugo-Hubp *et al.*, 1994), mostrando alturas relativas que alcanzan entre 60 y 300 m. La mayor parte de las estructuras son conos de escoria con pendientes de 30-40°, formadas de fragmentos angulosos de color negro a café, que pueden alcanzar hasta 20 cm de diámetro (Figura 3a).

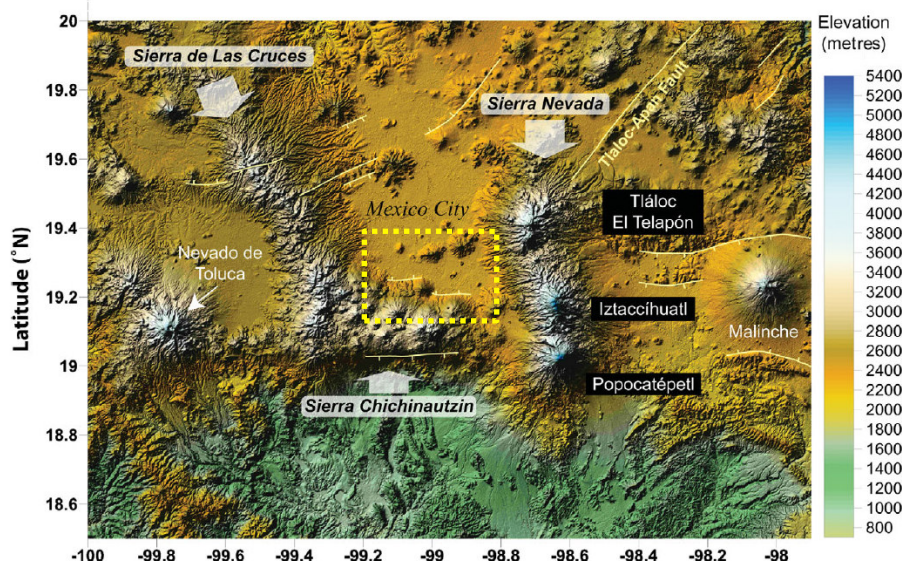


Figura 1. Modelo de elevación para la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano (Cadaux *et al.*, 2011). La localización de la Sierra de Santa Catarina y del Campo Milpa Alta se indica por medio de un rectángulo.

Algunos conos presentan flujos de lava, que son cubiertos parcial o totalmente por depósitos piroclásticos (espesor de hasta ~10 m). El cono Santa Catarina es el de mayor altitud (~2750 msnm), mostrando un cráter central de 350 m de diámetro. El Tecuatzi es un domo de lava con laderas empinadas o casi verticales (> 40°), con algunos derrames de lava asociados. La Caldera es una estructura tipo *maar* con doble cráter (altura relativa ~200 m), que es rodeada por los derrames de lava del volcán Santa Catarina y formada principalmente por tobos de pómez (Arce *et al.*, 2015). La geomorfología de las estructuras de la SSC ha variado fuertemente en las últimas décadas, como resultado de la explotación intensiva del material volcánico. De acuerdo a datos geomorfológicos y litológicos, Lugo-Hubp *et al.* (1994) sugirieron que la SSC se formó durante un periodo breve en el Pleistoceno Tardío (quizás < 20 ka). Su origen probablemente estuvo ligado a los sistemas de fallas que se reportan para la región, los cuales son de tipo normal con orientación preferencial E-W (Campos-Enríquez *et al.*, 2015; Figura 2). Durante el presente trabajo de campo, se levantaron 26 muestras en la SSC (Figura 2).

Por otra parte, el CMA se caracteriza por una serie de conos de ceniza dispersos, con extensos flujos de lava asociados (Figura 3b). El volcán Teuhtli (TE; altura relativa ~300 m) muestra un flujo de ~3.5 km de longitud, cuyo frente alcanza ~3 m de altura. El volcán Ocusacayo (OC; altura relativa ~70 m) presenta flujos de ~7.5 km de longitud. Además, sobre la falla Xochimilco (FXO) se distribuyen una serie de conos que dieron lugar a los denominados flujos de lava dacítica Xicomulco (XI). En este trabajo, se han colectado 12 muestras de afloramientos dentro del CMA (Figura 2).

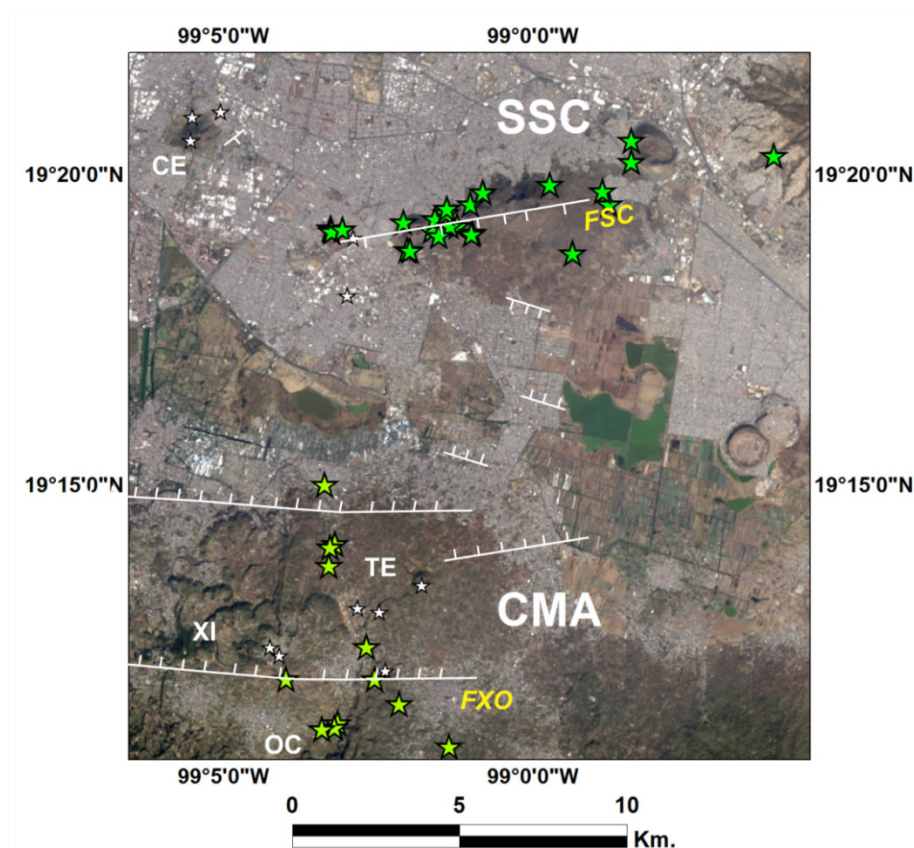


Figura 2. Modelo de elevación para la Sierra de Santa Catarina (SSC) y del Campo Milpa Alta (CMA). Conos: CE = Cerro de la Estrella, TE = volcán Teuhtli, OC = volcán Ocusacayo, XI = sistema Xicomulco. Las líneas blancas indican los principales sistemas de falla normal (Campos-Enríquez *et al.*, 2015): FXO = Falla Xochimilco, FSC = Falla Santa Catarina. Las estrellas verdes corresponden al muestreo efectuado durante este trabajo, mientras que las blancas indican muestras reportadas por Wallace y Carmichael (1999), Velasco-Tapia y Verma (2013), Arce *et al.* (2015) y Guilbaud *et al.* (2015).

PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA

De forma general, las rocas de la SSC (Figura 4a) se caracterizan por mostrar una textura porfídica, con presencia de vesículas, que incluye fenocristales subhedrales de clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa y olivino, sin evidencia de desequilibrio o alteración. Este arreglo se encuentra inmerso en una matriz vítrea, sin alguna orientación preferencial. Aunque las rocas del CMA (Fig. 4b) muestran un arreglo de minerales similar al observado en SSC (aunque con menor cantidad de olivino), sus texturas son de tipo porfídica a traquítica fluidal, no presentan vesículas y la matriz es tipo microlítica de vidrio y plagioclasa.

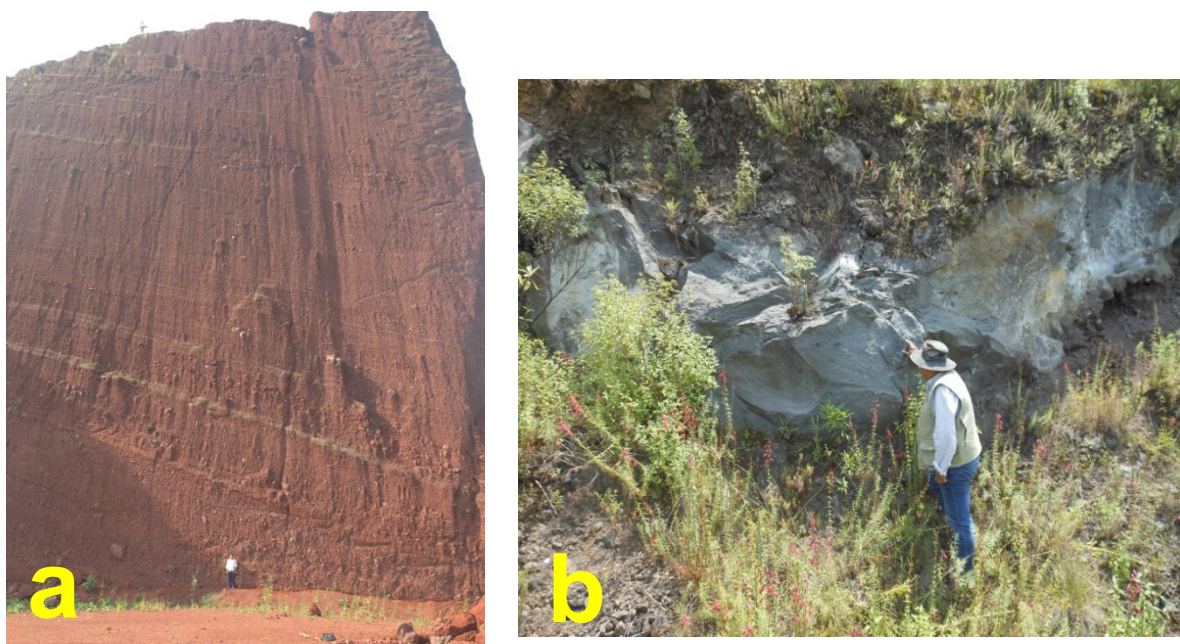


Figura 3. (a) Afloramiento en el cono Yuhualixqui, Sierra Santa Catarina ($19^{\circ}19'94''\text{N}$, $99^{\circ}03'16''\text{W}$), consistente de una secuencia de escoria (~ 20 m) con intercalación de flujos de lava delgados; (b) Afloramiento de flujo de lava andesítica asociado al volcán Teuhtli, Campo Milpa Alta ($19^{\circ}14'61''\text{N}$, $99^{\circ}03'22''\text{W}$).

La composición en elementos mayores y traza para 14 muestras de la SSC fue determinada, respectivamente, por fluorescencia de rayos-x (XRF) y espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma (ICP-MS), en el Instituto Nacional de Geofísica (Hyderabad, India). La calidad de los datos fue evaluada por medio de tres materiales de referencia geoquímica (basalto BHVO-1, microgabro PM-S y dolerita WS-E), que fueron analizados como muestras desconocidas de forma simultánea a las rocas de este trabajo.

De acuerdo al diagrama TAS (Figura 5a), las muestras de SSC se clasifican como traqui-andesita basáltica (BTA), mientras que las de CMA y el Cerro de la Estrella son andesita basáltica (BA) y andesita (A). Las rocas se caracterizan además por patrones de lantánidos, normalizados a condrita (Figura 5b), enriquecidos en elementos ligeros (alcanzando 150x en La), con un descenso suave hacia pesados y sin anomalías evidentes. Los diagramas multi-elemento, normalizados a manto primordial (Figura 5c), se caracterizan por un enriquecimiento en incompatibles (alcanzando como máximo $\sim 100\text{x}$), así como pequeñas anomalías negativas en Nb-Ta, P y Ti. Sin embargo, estas anomalías no son tan marcadas como las observadas en magmas asociados a arco (por ejemplo, Arco Volcánico Centroamericano, CAVA). Finalmente, la aplicación de un diagrama de discriminación tectónica, basado en funciones estadísticas del logaritmo de relaciones de elementos mayores (Figura 5d; Verma y Verma, 2013), ha revelado una afinidad de las rocas de SSC a un ambiente de rift continental.

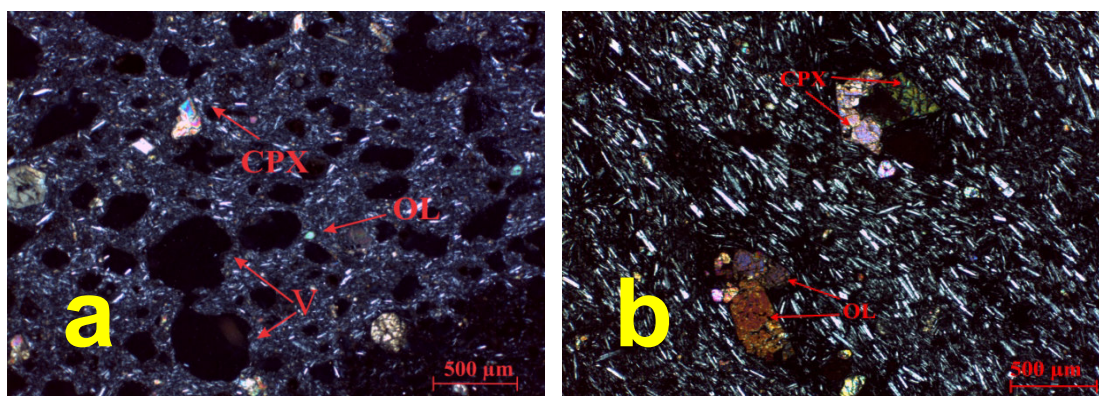


Figura 4. Microfotografías (luz polarizada; objetivo 2.5x) de muestras representativas para la SSC y el CMA (a) Muestra SSC-52, Cono Xaltepec; (b) Muestra MA-06, Flujo de lava dacítica Xicomulco. (CPX: clinopiroxeno; OL: olivino; V: vesículas).

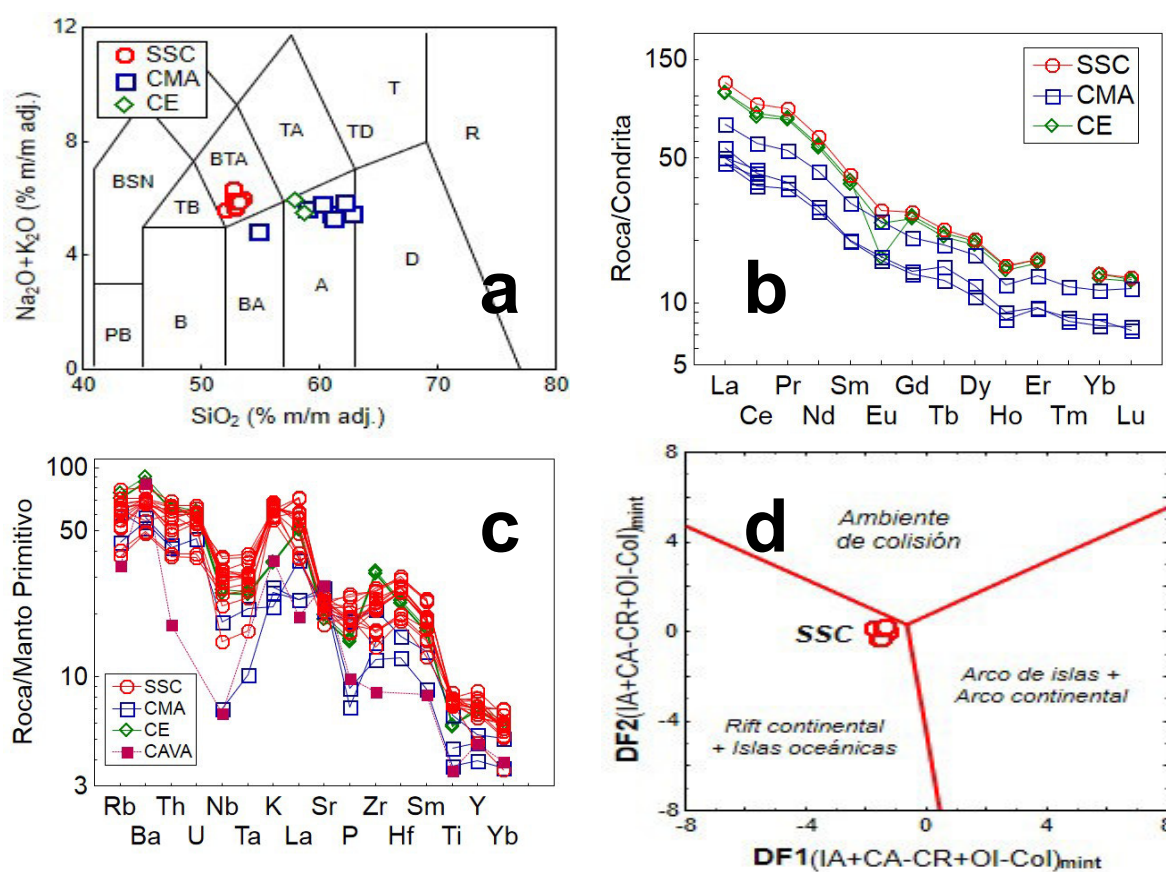


Figura 5. Diagramas para las rocas de SSC, CMA y CE: (a) Álcalis totales-sílice (TAS; Le Bas *et al.*, 1986); (b) Lantánidos normalizados a condrita (Rollinson, 1993). (c) Multi-elementos normalizados a manto primordial (Sun y McDonough, 1989); (d) Discriminación tectónica, basados en el logaritmo de relaciones de elementos mayores (Verma y Verma, 2013).

CONCLUSIONES

Los resultados generados en el presente estudio indican que: (a) la Sierra Santa Catarina está constituida por una serie de conos de escoria y flujos asociados, en los que domina una composición de traqui-andesita basáltica, con una composición altamente enriquecida en elementos incompatibles y una afinidad a ambiente extensional; y (b) el Campo Milpa Alta está conformado por flujos de lava de composición andesita basáltica a andesita con enriquecimiento en elementos incompatibles.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha contado con financiamiento por parte del proyecto DGAPA-PAPIIT RN104813 - UNAM y del Programa del Fortalecimiento de la Calidad en Instituciones Educativas – UANL.

REFERENCIAS

- Arce, J.L., Layer, P., Martínez, I., Salinas, J.I., Macías-Romo, M.C., Morales-Casique, E., Benowitz, J., Escolero, O., Lenhardt, N. 2015. Geología y estratigrafía del pozo profundo San Lorenzo Tezonco y de sus alrededores, sur de la Cuenca de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67, 123-143.
- Cadoux, A., Missenard, Y., Martínez-Serrano, R.G., Guillou, H. 2011. Trenchward Plio-Quaternary volcanism migration in the Trans-Mexican Volcanic Belt: the case of the Sierra Nevada range. *Geology Magazine* 148, 492-506.
- Campos-Enriquez, J.O., Lermo-Samaniego J.F., Antayhua-Vera, Y.T., Chavacán, M., Ramón-Márquez, V.M. 2015. The Aztlán Fault System: control on the emplacement of the Chichinautzin Range volcanism, southern Mexico Basin, Mexico. Seismic and gravity characterization. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67, 315-335.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., Manea, M. 2012. The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics* 522-523, 122-149.
- Guilbaud, M.N., Arana-Salinas, L., Siebe, C., Bárbara-Pingarró, L.A., Ortiz, A. 2015. Volcanic stratigraphy of a high-altitude *Mammuthus columbi* (Tlacontenco, Sierra Chichinautzin), Central Mexico. *Bulletin of Volcanology* 77, 1-16.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745-750.
- Lugo-Hubp, J., Mooser, F., Pérez-Vega, A., Zamorano-Orozco, J. 1994. Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F., México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 11, 43-52.
- Márquez, A., Oyarzun, R., Doblas, M., Verma, S.P. 1999. Alkalic (ocean-island basalt type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican Volcanic Belt: a case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin? *Geology* 27, 51-54.
- Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, Essex, UK.
- Sun, S.-S. and McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), *Magmatism in the ocean basins. Geological Society Special Publication*, 313-345.
- Velasco-Tapia, F., Rodríguez-Saavedra, P., Márquez, A., Navarro de León, I., De Ignacio, C., Marroquín-Guerra, S.G., Quintanilla-Garza, J., Rangel-Álvarez, O.M. 2013. Mineralogical and geochemical evidence of magma mingling/mixing in the Sierra de Las Cruces volcanic range. Mexican Volcanic Belt. *Journal of Iberian Geology* 39, 147-166.
- Velasco-Tapia, F., Verma, S.P. 2013. Magmatic processes at the volcanic front of Central Mexican Volcanic Belt: Sierra de Chichinautzin Volcanic Field (Mexico). *Turkish Journal of Earth Science* 22, 32-60.
- Verma, S.P. 2002. Absence of Cocos plate subduction-related mafic volcanism in southern Mexico: a unique case on Earth? *Geology* 30, 1095-1098.

- Verma, S.P., Verma, S.K. 2013. First 15 probability-based multidimensional tectonic discrimination diagrams for intermediate magmas and their robustness against postemplacement compositional changes and petrogenetic processes. *Turkish Journal of Earth Sciences* 22, 931-995.
- Wallace, P.J., Carmichael, I.S.E. 1999. Quaternary volcanism near the Valley of Mexico: implications for subduction zone magmatism and the effects of crustal thickness variations on primitive magma compositions. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 135, 291-314.